OCUPAÇÃO URBANA E RISCO A PROCESSOS DE MOVIMENTOS DE MASSA NO LITORAL NORTE DE SÃO PAULO: AVALIAÇÃO DOS FATORES GEOAMBIENTAIS

Lídia Keiko TOMINAGA [1]
Cláudio José FERREIRA [2]
Ricardo VEDOVELLO[3]
Renato TAVARES[4]
Jair SANTORO[5]

RESUMO

Em relevo serrano, como o que domina grande parte da região do Litoral Norte, os desastres causados por processos de movimentos de massa são bastante comuns e previsíveis em períodos chuvosos. No entanto, o crescimento demográfico, o aumento da densidade populacional e a ocupação desordenada de áreas instáveis e perigosas vêm aumentando a vulnerabilidade da população e o potencial de dano desse tipo de desastre. Assim, a avaliação e a análise do risco consistem em etapa fundamental para a adoção de políticas e medidas adequadas para a redução dos efeitos dos desastres naturais.

Este trabalho apresenta um estudo de avaliação dos fatores geoambientais envolvidos na análise de risco aplicados no Litoral Norte do Estado de São Paulo, bem como dos procedimentos metodológicos de elaboração da carta de risco a movimentos de massa na escala 1:50.000. A abordagem adotada na presente avaliação de risco baseia-se em três variáveis: o perigo geoambiental, a vulnerabilidade do elemento em risco e o potencial de dano (valoração) do elemento em risco.

A análise do perigo geoambiental contempla a avaliação dos fatores que causam a instabilidade do terreno (agentes e condicionantes) e a possibilidade de ocorrência do processo de instabilização. Na abordagem metodológica utilizada, estes fatores foram estabelecidos considerando-se o conjunto das condições geoambientais compostas pelo substrato geológico, morfologia/morfometria do relevo, materiais superficiais, clima, vegetação e ação antrópica. As sucessivas etapas de análise destes fatores são representadas numa série de cartas derivadas. A utilização do sistema de informações geográficas e bancos de dados relacionais baseadas em unidades de armazenamento com correspondência direta com a paisagem (unidades básicas de compartimentação e unidades de uso do solo e vegetação), permitem que os produtos cartográficos derivados e finais sejam facilmente obtidos e manejados.

Desta forma, a partir dos mapas básicos (compartimentação fisiográfica, uso e ocupação do solo, vegetação e clima) foram geradas as seguintes cartas intermediárias: suscetibilidade natural, potencial de indução do uso e ocupação do solo e de vegetação, suscetibilidade total, perigo, vulnerabilidade do elemento em risco e potencial de dano do elemento em risco. O resultado do processo de avaliação de risco é representado pela carta de risco de movimentos de massa à ocupação urbana, tendo a população como elemento em risco.

INTRODUÇÃO

[1] Instituto Geologico – SMA/SP, Pesquisador Científico, tominaga@igeologico.sp.gov.br.
[2] Instituto Geologico – SMA/SP, Pesquisador Científico, cferreira@igeologico.sp.gov.br.
[3] Instituto Geologico – SMA/SP, Pesquisador Científico, vedovello@igeologico.sp.gov.br.
[4] Instituto Geologico – SMA/SP, Pesquisador Científico, renato@igeologico.sp.gov.br.
[5] Instituto Geologico – SMA/SP, Pesquisador Científico, jsantoro@igeologico.sp.gov.br.

A região do Litoral Norte do Estado de São Paulo destaca-se pela sua paisagem natural marcada pela presença da Serra do Mar, pela Mata Atlântica e pela orla recortada pelos morros e pontões que avançam sobre o mar. A riqueza paisagística criada pelo contraste da serra florestada e o mar, com praias de grande beleza cênica, confere à região uma vocação essencialmente turística, atraindo investimentos para esse fim, tais como a implantação de condomínios e residências de veraneio, comércio e serviços, com conseqüente valorização imobiliária. Ao mesmo tempo verificou-se um crescimento populacional com taxas de aproximadamente 5% no período de 1991 a 2000, segundo dados da SEADE.

Por outro lado, a maior parte da região é dominada pelas vertentes da Serra do Mar, sustentadas predominantemente por rochas gnáissicas e migmatíticas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, agrupados no Complexo Costeiro por Almeida *et al*. (1981). As características fisiográficas desta área, com altas declividades e elevados índices pluviométricos, tornam seus terrenos suscetíveis ao desenvolvimento de processos de instabilização, como os de movimentos gravitacionais de massa, sendo por isso mais indicados para a preservação ambiental.

No entanto, o incremento populacional tanto da população fixa como da sazonal, principalmente nas duas últimas décadas, aliada a pouca disponibilidade de terrenos adequados à ocupação tem como consequência a valorização imobiliária de áreas localizadas nas planícies, que são mais adequadas, acarretando a ocupação desordenada de áreas instáveis e expondo as populações aos perigos decorrentes dos desastres geoambientais.

Assim, o crescimento acelerado da Zona Costeira vem desencadeando sérios problemas e conflitos de cunho sócio-econômico-ambiental, com muitos impactos negativos. Entre esses impactos destacam-se o comprometimento dos recursos naturais e da qualidade ambiental, e o aumento da magnitude e freqüência das ocorrências de perigos naturais (enchentes e inundações, movimentos de massa, processos erosivos).

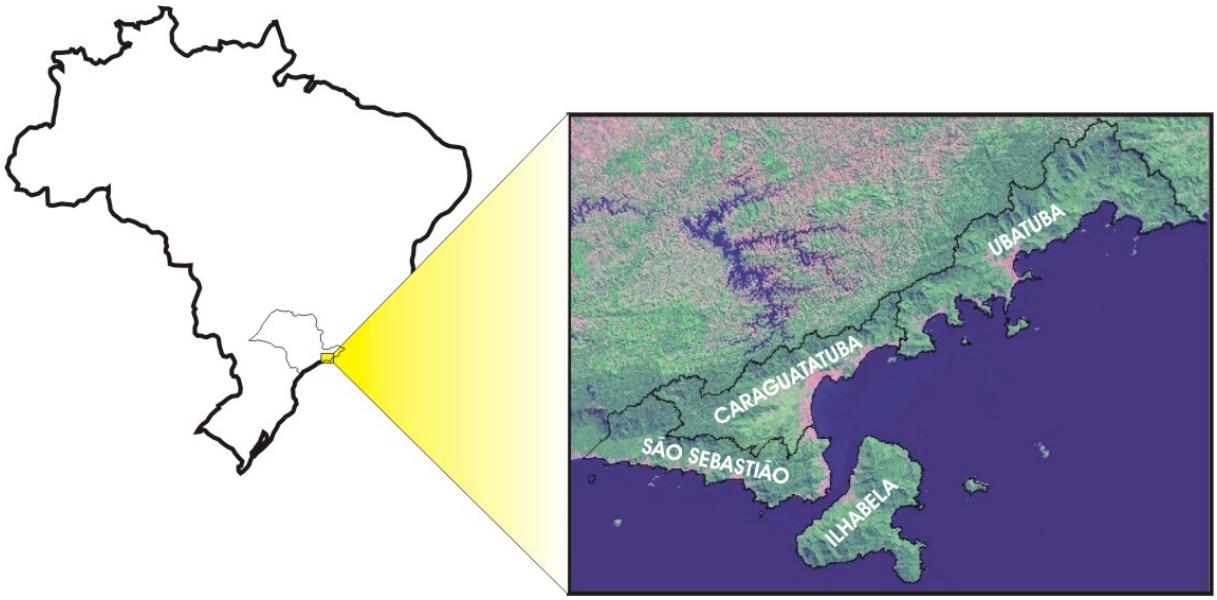

Figura 1 – Localização da área de estudo (Litoral Norte do Estado de São Paulo).

Tal situação tem motivado o Instituto Geológico (IG-SMA), desde os anos de 1990, a realizar estudos integrados do meio físico voltados ao planejamento territorial e ao gerenciamento ambiental da região. Estes estudos referem-se à *Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião* (IG-SMA, 1996); à participação *no Projeto de Preservação da Mata Atlântica (PPMA) – Planos de Gestão das Unidades de Conservação* (SMA, 1998 a e b; TOMINAGA et al., 2002), ao apoio técnico ao *Plano Preventivo da Defesa Civil – PPDC*, específicos para processos de movimentos de massa na Serra do Mar; e à

pesquisa de Dissertação de Mestrado "Análise Morfodinâmica das Vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião, SP" (TOMINAGA, 2000).

Mais recentemente, o IG-SMA desenvolveu *o Projeto Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, aplicado ao Gerenciamento Costeiro (SIIGAL)*, financiado pela FAPESP (Políticas Públicas) e em parceria com outras instituições da SMA e com as universidades USP e UNESP, com o objetivo principal de estruturar em bases geo-referenciadas, um sistema integrado de informações geoambientais para o Litoral Norte do Estado de São Paulo, visando atender aos diversos componentes da sociedade, em especial aos planejadores, gerenciadores e executores de políticas públicas (SOUZA, 2000: SOUZA et al. 2001).

Este trabalho apresenta parte dos resultados do Projeto SIIGAL referente ao estudo dos fatores geoambientais envolvidos na análise de risco, bem como dos procedimentos metodológicos de elaboração da carta de risco a movimentos de massa na escala 1:50.000 (TOMINAGA et al. 2001, 2004). A abordagem adotada na presente avaliação de risco baseia-se em três variáveis: o perigo geoambiental, a vulnerabilidade do elemento em risco e o potencial de dano (valoração) do elemento em risco.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Região do Litoral Norte do Estado de São Paulo composto pelos municípios de Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba, abrange uma área de 1.977 km^2 correspondendo a menos de 1% do território estadual dos quais 1.674 km^2 (cerca de 85%) estão sob domínio da Mata Atlântica (Figura 1). Aproximadamente, 80% da região encontra-se protegida em unidade de conservação (Parque Estadual da Serra do Mar) que abrange as escarpas da Serra do Mar e uma faixa adjacente do Planalto Atlântico (São Paulo: SMA/CPLEA,2005).

As principais vias de acesso à região a partir da Capital são as rodovias SP-70 (Ayrton Sena/Carvalho Pinto) ou BR-116 (Presidente Dutra), SP-99 (Rodovia dos Tamoios), SP-55/BR-101 (Rodovia Manoel Hipólito do Rego) e Br-125 (Rodovia Oswaldo Cruz).

ASPECTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS

A metodologia adotada para elaboração da Carta de Risco a Movimentos de Massa foi baseada em Varnes 1984, Einstein 1987, Anbalagan & Singh 1996, Besio *et al*. 1998 e Tominaga *et al*. 2001. Nesta abordagem, o risco é avaliado como resultante de três variáveis, o perigo de escorregamentos, a vulnerabilidade do elemento em risco e o potencial de dano (valoração) do elemento em risco.

Nos estudos mais recentes, os conceitos de risco e perigo natural ou geológico estabelecidos na década de 80 (VARNES 1984, EINSTEIN 1987), têm se aproximado mais da definição das companhias de seguro, as quais incluem os conceitos de vulnerabilidade e de potencial de dano do elemento em risco (ANBALAGAN & SINGH 1996, BESIO *et al*. 1998, HERMELIN 2000, AUGUSTO FILHO 2001, ONU 2002).

Assim, na presente avaliação utilizou-se as seguintes definições:

Perigo geológico: evento ou fenômeno geológico potencialmente danoso, o qual pode causar a perda de vidas e ferimentos a pessoas, danos a propriedades, rupturas sociais e econômicas ou degradação ambiental. Cada perigo deve ser caracterizado por sua localização, intensidade e probabilidade.

Vulnerabilidade do elemento em risco: conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, as quais aumentam a suscetibilidade de uma comunidade (elemento em risco) ao impacto dos perigos (ONU 2002). A vulnerabilidade compreende tanto aspectos físicos (resistência das construções e proteções

da infraestrutura) como fatores humanos, tais como, econômicos, sociais, políticos, técnicos, ideológicos, culturais, educacionais, ecológicos e institucionais (Hermelin 2000). A capacidade positiva da comunidade (elemento em risco) de enfrentar e recuperar-se dos impactos dos perigos age no sentido de reduzir o grau de vulnerabilidade e foi considerada intrínseca a esta, ao contrário do proposto no documento da ONU (2002) que prefere tratar essa capacidade como uma variável independente.

Potencial de dano (valoração) do elemento em risco: estimativa da extensão do dano resultante, expresso pelo número de pessoas ou pelo valor das propriedades e bens sob risco.

Risco: perdas esperadas (vidas, ferimentos de pessoas, propriedades, rupturas das atividades econômicas ou danos ambientais) resultantes da interação de perigos naturais induzidos ou não, da vulnerabilidade e do potencial de dano do elemento em risco. O risco pode ser expresso pela equação:

Risco (R) = Perigo (P) x Vulnerabilidade (V) x Potencial de Dano (D)

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A avaliação de risco a movimentos de massa foi desenvolvida em três etapas principais correspondentes a elaboração dos mapas básicos, mapas intermediários e da carta de risco, conforme estrutura representada na Figura 2.

MAPAS BÁSICOS

As informações básicas da área de estudo quanto à geologia, geomorfologia, solos, unidades climáticas, vegetação e uso e ocupação do solo foram representadas nos seguintes produtos: Mapa de Compartimentação Fisiográfica, Mapa de Unidades Climáticas e Mapa de Uso e Ocupação do Solo e Vegetação.

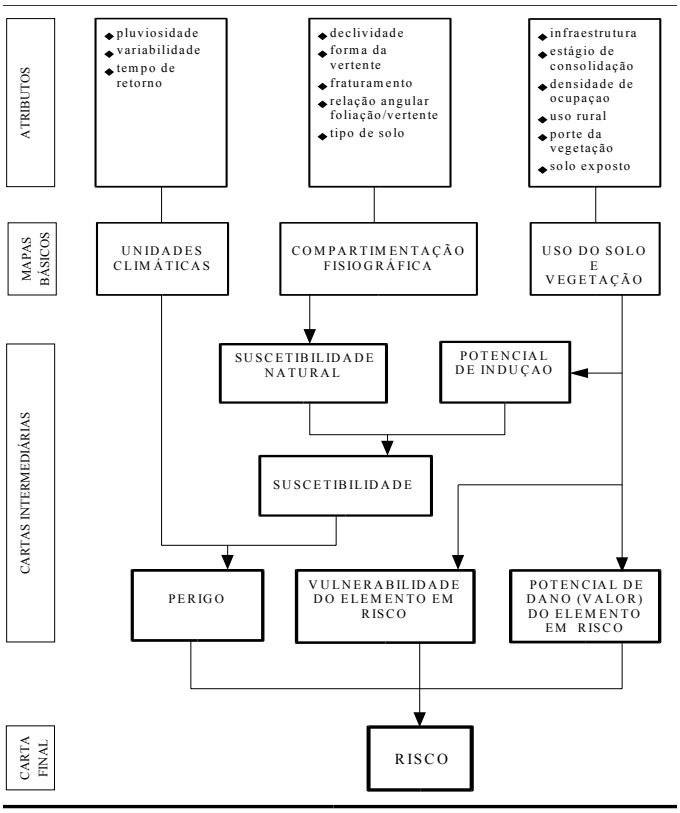

Figura 2 – Fluxograma de avaliação de perigo e risco.

O Mapa de Compartimentação Fisiográfica contém uma divisão do terreno (polígonos) em Unidades Básicas de Compartimentação–UBCs (esboço na Figura 3), delimitados de acordo com procedimentos sugeridos por Vedovello & Mattos (1998) e Vedovello (1993, 2000). As unidades decorrentes da compartimentação fisiográfica constituem a base para o armazenamento dos dados e informações sobre o terreno. A organização desses dados e informações em forma de banco de dados georreferenciado permite a operacionalização otimizada dos procedimentos de aquisição de mapas derivados (Vedovello et al. 2002).

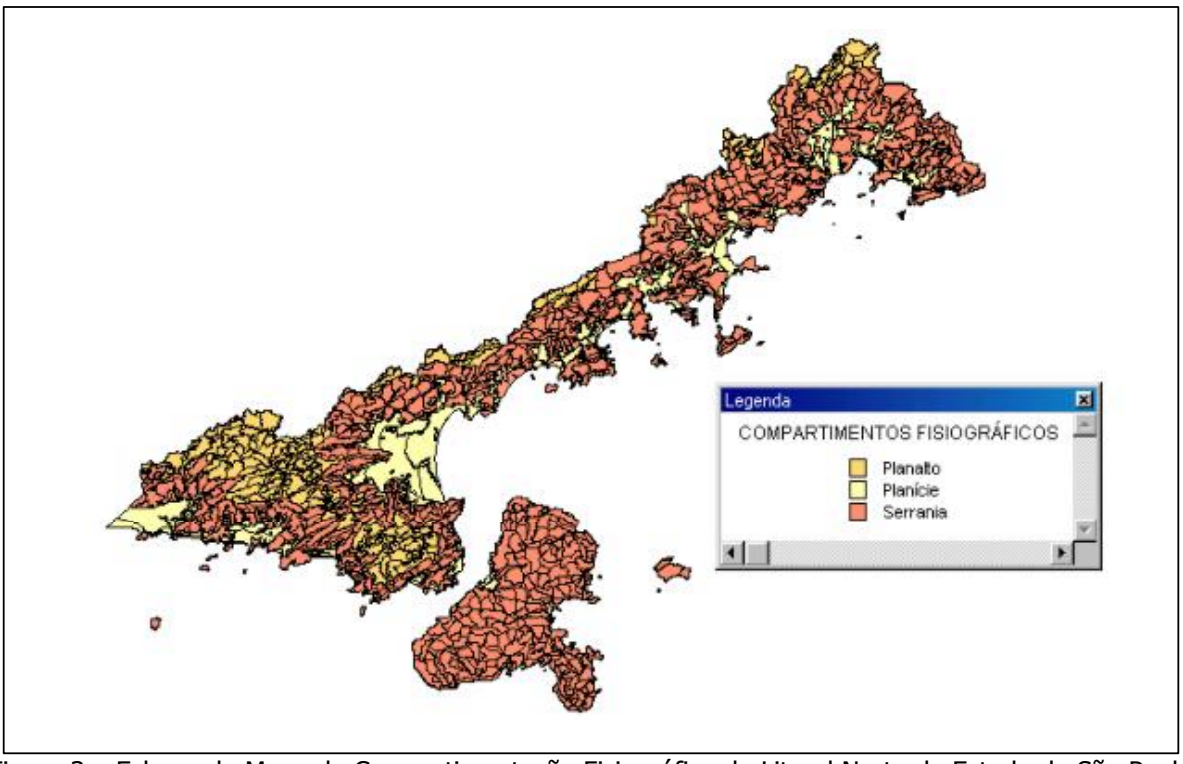

Figura 3 – Esboço do Mapa de Compartimentação Fisiográfica do Litoral Norte do Estado de São Paulo

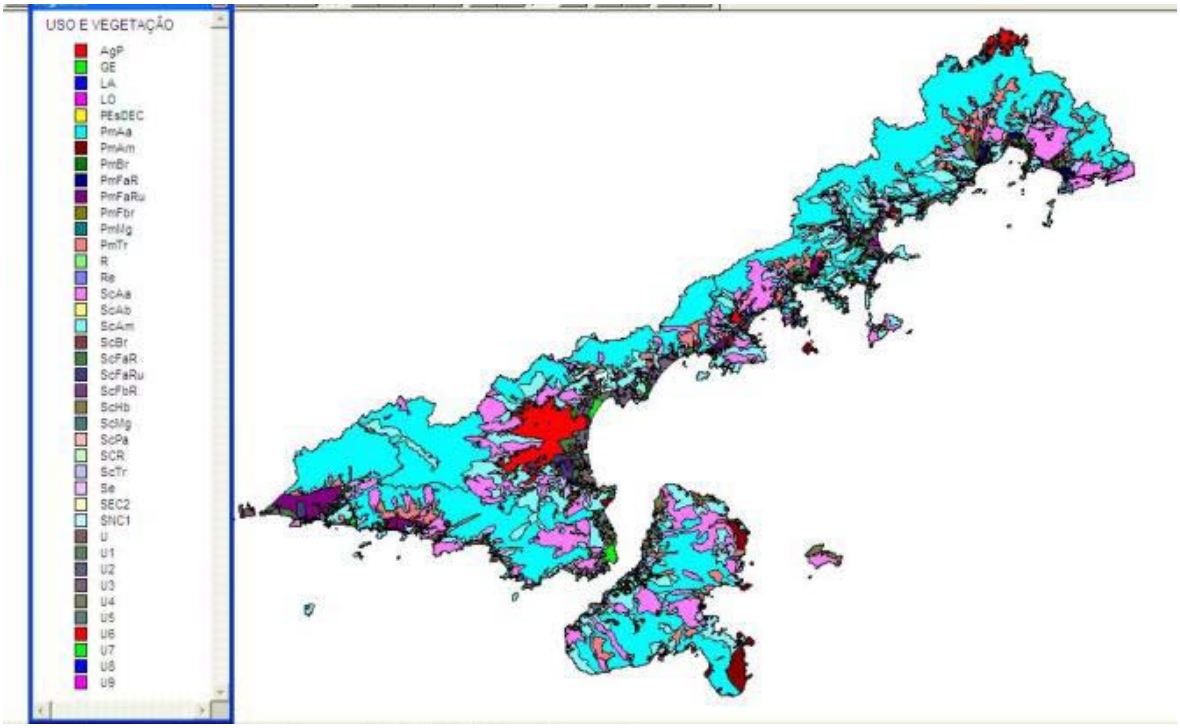

Figura 4 – Esboço do Mapa de Uso e Ocupação do Solo e de Vegetação do Litoral Norte do Estado de São Paulo (HAMBURGER *et al.* 2003, SOUZA et al. 2003)

Tabela 1 - Exemplo da caracterização geoambiental das UBCs (setores Serrania e Planalto)

Litoral Norte: Ubatuba									
UBC	Contexto Fisiográfico			Características Específicas					
	Setor Geomorfológico	Domínio Litológico	Domínio Morfológico	Declividade (Y1)	Perfil de Vertente (Y2)	Grau de Fraturamento(Y3)	Tipo de Material Inconsolidado (solo) (Y4)	Rel. ang. foliação – vertente (Y5)	Espessura da Cobertura
SHM2	Serrania	Charnokíto equigranular a porfirítico	morros alongados com topos agudos	15º - 30º	Côncavo/ Retilíneo	Muito fraturada	Argiloso	a) N72ºE c) N50ºW	Maior 5m
SHM3	Serrania	Charnokíto equigranular a porfirítico	morros alongados com topos agudos	15º - 30º	Retilíneo - convexo	Muito fraturada	Argiloso	N50ºW	0 – 5 Maior 5m
SHM7	Serrania	Charnokíto equigranular a porfirítico	morros alongados com topos agudos	15º - 30º	Côncavo	Muito fraturado	Argiloso	N50ºE	Maior 5m
SNM1	Serrania	Biotita migmatito e/ou granito-gnaisse porfiroclástico	morros alongados com topos agudos	15º - 30º	Convexo	Medianamente fraturada	Argilo-arenoso		Maior 5m
SNM2	Serrania	Biotita migmatito e/ou granito-gnaisse porfiroclástico	morros alongados com topos agudos	30º - 47º	Côncavo-convexo	Muito fraturada	Argilo-arenoso	N27ºW	0 – 5m
SNM3	Serrania	Biotita migmatito e/ou granito-gnaisse porfiroclástico	morros alongados com topos agudos	15º - 30º	Côncavo-convexo	Medianamente fraturada	Argilo-arenoso	N39ºW	Maior 5m
SNM4	Serrania	Biotita migmatito e/ou granito-gnaisse porfiroclástico	morros alongados com topos agudos	15º - 30º	Côncavo-convexo	Medianamente fraturada	Argilo-arenoso	a) N82ºE, N55ºW b) N20ºE	Maior 5m
PGB2	Planalto	biotita granito porfirítico com fácies a granada e biotita	morrotes, morros baixos, topos convexos	5º - 15º	Convexo-côncavo	Muito fraturada	Argilo-arenoso	N36ºE	Maior 5m
PMB1	Planalto	Migmatitos com estruturas diversas	Morrotes, morros baixos, topos convexos	5º - 15º	Convexo	Muito fraturada	Argilo-arenoso	a) N81ºW b) N5ºW c) N5ºE d)N80ºE	Maior 5m
PNC3	Planalto	Biotita migmatito e/ou granito-gnaisse porfiroclástico	morros de topos convexos	5º - 15º 15º- 30º	Convexo	Muito fraturada	Argiloso	N65ºE	5 – 10m

As unidades básicas de compartimentação (UBCs) dos setores de planalto e serrania foram caracterizados também quanto aos atributos elencados para a análise de perigos e risco os quais, por exercerem maior influência na predisposição à ocorrência de perigos, foram considerados como sendo: a declividade, a forma da vertente, o grau de fraturamento, a relação angular entre a foliação e a direção da vertente e os materiais inconsolidados (exemplo na Tabela 1).

Na Figura 4 apresenta-se um esboço do mapa de Uso e Ocupação do Solo e de Vegetação, cujas unidades são caracterizadas na Tabela 2. As Unidades Climáticas estão descritas na Tabela 3.

Tabela 2 – Caracterização das unidades de uso do solo e de vegetação (HAMBURGER *et al.* 2003).

ID	Densidade	Estágio de consolidação	Estrutura Urbana	Descrição da classe na superfície
U1	Muito Alta	Consolidado	Adequada	Área com muito alta densidade de edificações, inclusive verticalizadas, cuja superfície é bastante impermeabilizada e pouco arborizada. O uso corrente é de função residencial e comercial.
U2	Alta	Consolidado	Adequada	Área com alta densidade de edificações, cuja superfície é bastante impermeabilizada e pouco arborizada. O uso corrente é de função residencial e comercial.
U3	Baixa	Em consolidação	Adequada	Área com média densidade de edificações, cuja superfície é bastante impermeabilizada e com arborização variável. O uso corrente é de função residencial e comercial. (lotes maiores).
U4	Alta	Consolidado	Inadequada	Área com alta densidade de edificações, superfície é bastante impermeabilizada e pouco arborizada. A estruturação urbana é ausente ou "adaptada" de forma simultânea à consolidação. O uso corrente é de função residencial e eventualmente comercial.
U5	Média/ Baixa	Em consolidação	Inadequada	Área com média densidade de edificações, cuja superfície é pouco impermeabilizada e bastante arborizada. A estruturação urbana é ausente ou "adaptada" de forma simultânea à consolidação. O uso corrente é de função residencial e eventualmente comercial.
U6	Esparsa	---	---	Sítios e chácaras; serviço e comércio em estradas. Área ocupada por edificações de forma esparsa, com padrão urbano incipiente e predomínio de funções rural ou de lazer. Inclui eventual atividade agrícola de subsistência
U7	Esparsa	Consolidado	Adequada	Descontínuo do urbano com baixa impermeabilização (casas grandes, condomínios, segunda residência).
U8	Alta/Média	Em consolidação	Inadequada	Ocupação de baixo padrão (favelas, invasões, etc.).
U9	Média	Consolidado	Adequada	Área com média densidade de edificações, cuja superfície é bastante impermeabilizada e com arborização variável. O uso é residencial e comercial com lotes maiores.
LO	---	---	---	Loteamento implantado e não ocupado
LA	---	---	---	Loteamento abandonado
GE	---	---	---	Grandes equipamentos: porto, aeroporto, oleoduto, retroporto, pólo industrial.
AgP	---	---	---	Atividades agropastoris
R	---	---	---	Reflorestamento
Se	---	---	---	Solo exposto: área de solo exposto pela ação antrópica
Re	---	---	---	Rocha exposta
Pm	---	---	---	Vegetação em estado primário ou com alteração abaixo de 20% da área (Aa-Arbórea alta; Am-Arbórea média; Ab- Arbustiva; Hb-Herbácea)
Sc	---	---	---	Vegetação secundária, com alteração em mais de 20% da área (Aa-Arbórea alta; Am-Arbórea média; Ab- Arbustiva; Hb-Herbácea)

CARTAS DERIVADAS (INTERMEDIÁRIAS)

A avaliação de perigo e risco geoambiental envolveu a identificação dos fatores que causam a instabilidade do terreno (agentes e condicionantes) e a possibilidade da ocorrência do perigo. Na abordagem metodológica adotada, estes fatores foram estabelecidos considerando-se o conjunto das condições geoambientais compostas pelo suporte geológico, morfologia do relevo, processos geomorfodinâmicos, materiais superficiais, clima, vegetação e ação antrópica. As sucessivas etapas de análise destes fatores foram representadas em cartas derivadas, produzindo-se assim, as seguintes cartas:

Suscetibilidade Natural, Potencial de Indução do Uso e Ocupação do Solo e de Vegetação, Suscetibilidade Total, Perigo, Vulnerabilidade do Elemento em Risco e Potencial de Dano do Elemento em Risco (Figura 2).

Tabela 3 – Caracterização das unidades climáticas

UNIDADES CLIMÁTICAS		ATRIBUTOS PLUVIAIS ANUAIS		
		Pluviosidade Habitual (mm/ano)	*Variabilidade no Verão (%)*	*Tempo de Retorno (120mm/3dias)*
IA1	Serra do Mar	Muito Alta	Alta	Muito Alto
IA2	Serra do Mar	Muito Alta	Alta	Muito Alto
IA3	Serra do Mar	Muito Alta	Alta	Muito Alto
IB1	Picinguaba	Alta	Muito Alta	Muito Alto
IB2	Ubatuba	Alta	Alta	Muito Alto
IB3	Caraguatatuba	Média	Média	Alto
IB4	São Sebastião	Baixa	Média	Alto
IB5	Ilhabela	Média	Alta	Alto
T	Serra do Juqueriquerê	Muito Alta	Alta	Muito Alto
IIB1	Maresias	Alta	Alta	Muito Alto
CONVENÇÕES				
A, T: Serra B: Planície I: Litoral Norte II: Litoral Central		Muito Alta: >3000mm Alta: 2000-3000mm Média: >1500<2000mm Baixa: <1500mm	Muito Alta: >70% Alta: 55,1-70% Média: 40-55% Baixa: <40%	Muito Alto: até 1 ano Alto: 1,1-5 anos Médio: 5,1-10 anos Baixo: >10 anos

CARTA DE SUSCETIBILIDADE NATURAL

Esta carta representa a suscetibilidade natural do terreno (esboço na Figura 5) definida a partir dos atributos geoambientais das Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs). Sua elaboração envolveu duas etapas principais:

a) Definição dos atributos de caracterização geoambiental

Com base em trabalhos que correlacionaram padrões morfológicos, morfométricos, tipos de solos e de estruturas geológicas com a ocorrência de cicatrizes de escorregamentos (BACCARO 1982, AGUIAR & SANTOS 1991, OKIDA 1996, TURRINI & VISINTAINER 1998, TOMINAGA 2000) e do inventário de eventos de movimentos de massa do Litoral Norte (SANTORO 2003), elencou-se os atributos do terreno (características e/ou propriedades das UBCs) considerados relevantes para a avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa. Tais atributos (declividade, forma do perfil de vertente, grau de fraturamento, relação entre a foliação e a vertente, e os materiais inconsolidados) foram caracterizados para cada UBC, conforme descrito a seguir.

Declividade: obtida a partir de cartas clinométricas, elaboradas com base nas cartas topográficas do IBGE, escala 1:50.000 (em ArcGIS).

Forma do perfil de vertente: a forma do perfil de vertente, resultante do balanço entre processos de intemperismo (eluviação) e de erosão (remoção do material), foi caracterizada através da interpretação de imagem de satélite e de levantamentos realizados em estudos anteriores.

Grau de fraturamento do maciço rochoso: o grau de fraturamento foi obtido a partir de análise da distribuição dos lineamentos extraídos da imagem de satélite Landsat 7.0, pan, digital, por meio da avaliação da densidade de elementos texturais de drenagem retilíneos e fortemente estruturados.

Relação entre a direção de foliação da rocha e a direção do plano de vertente: as direções de foliação foram medidas em levantamentos de campo e complementadas por informações de trabalhos anteriores. As direções das vertentes foram extraídas da base topográfica digital e calculadas por meio de programa específico para tratamento de elementos lineares.

Material de cobertura inconsolidada (tipo de solo): os tipos de solos foram caracterizados quanto à textura (granulometria) por meio de observações de campo e/ou de informações de trabalhos anteriores.

b) Classificação e hierarquização dos atributos para elaboração da carta de suscetibilidade

Para cada atributo relacionado no sub-ítem anterior, estabeleceu-se classes de suscetibilidade, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos Atributos e Classes de Suscetibilidade.

ATRIBUTOS	CLASSIFICAÇÃO	CLASSES DE SUSCETIBILIDADE
Declividade da vertente	Maior que 30^{o}	muito alta
	15 a 30^{o}	alta
	5 a 15^{o}	média
	menor que 5^{o}	baixa
Forma do perfil da vertente	retilíneo	muito alta
	côncavo	alta
	convexo-côncavo	média
	convexo	baixa
Grau de fraturamento da rocha (em km de lineamento por km^{2})	extremamente fraturado (> 2,2 km/km^{2})	muito alta
	muito fraturado (entre 2,2 e 1,2 km/km$^{2)}$	alta
	medianamente fraturado (entre 1,2 e 0,2 km/km^{2})	média
	pouco fraturado (< 0,2 km/km^{2})	baixa
Ângulo entre a direção da foliação com a direção predominante da vertente	concordante (menor que 10 ^{o})	muito alta
	pouco discordante (entre 10 e 20^{o})	alta
	discordante (entre 20 e 30 ^{o})	média
	muito discordante (maior que 30^{o})	baixa
Material de cobertura inconsolidada (Tipo de solo)	arenoso a areno-siltoso	muito alta
	areno-argiloso a síltico-argiloso	alta
	argilo-arenoso	média
	argiloso	baixa

A classificação das UBCs quanto à suscetibilidade, foi baseada na hierarquização dos atributos conforme sua importância relativa para esta avaliação. Adotou-se um formato de hierarquização por “árvore lógica”, sugerida por Zuquette (1993) quando uma análise envolve a inter-relação de múltiplos atributos, cujos parâmetros apresentam influência variável na análise pretendida. A hierarquização estabelecida para esta avaliação, de acordo com a maior ou menor influência que estes exercem no condicionamento dos processos geodinâmicos, considerou, em ordem decrescente, os seguintes atributos: declividade, perfil da vertente, grau de fraturamento, material de cobertura inconsolidada e relação angular entre a foliação e a vertente (Exemplo na Tabela 5).

Tabela 5 – Exemplo de classificação da suscetibilidade natural com base na hierarquização dos atributos.

Declividade	Perfil da Vertente	Grau de fraturamento	Material de alteração	Ângulo entre foliação e vertente	Classificação
Média	Convexo-côncavo	Extremamente fraturado	Arenoso a areno siltoso	<5°	Muito Alta
				5° – 15°	
				15° – 30°	
				>30°	
			Silte-argiloso a areno-argiloso	<5°	Muito Alta
				5° – 15°	Muito Alta
				15° – 30°	Alta
				>30°	Média
			Argilo-arenoso	<5°	Muito alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
			Argiloso	<5°	Alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
		Muito fraturado	Arenoso a areno siltoso	<5°	Muito Alta
				5° – 15°	Muito Alta
				15° – 30°	Alta
				>30°	Alta
			Silte-argiloso a areno-argiloso	<5°	Muito alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Alta
				>30°	Média
			Argilo-arenoso	<5°	Alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Alta
				>30°	Média
			Argiloso	<5°	Alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
		Medianamente fraturado	Arenoso a areno siltoso	<5°	Alta
				5° – 15°	
				15° – 30°	
				>30°	
			Silte-argiloso a areno-argiloso	<5°	Alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
			Argilo-arenoso	<5°	Alta
				5° – 15°	Média
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
			Argiloso	<5°	Média
				5° – 15°	Média
				15° – 30°	Média
				>30°	Baixa
		Pouco Fraturado	Arenoso a areno siltoso	<5°	Alta
				5° – 15°	Alta
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
			Silte-argiloso a areno-argiloso	<5°	Alta
				5° – 15°	Média
				15° – 30°	Média
				>30°	Média
			Argilo-arenoso	<5°	Média
				5° – 15°	Média
				15° – 30°	Média
				>30°	Baixa
			Argiloso	<5°	Média
				5° – 15°	Média
				15° – 30°	Baixa
				>30°	Baixa

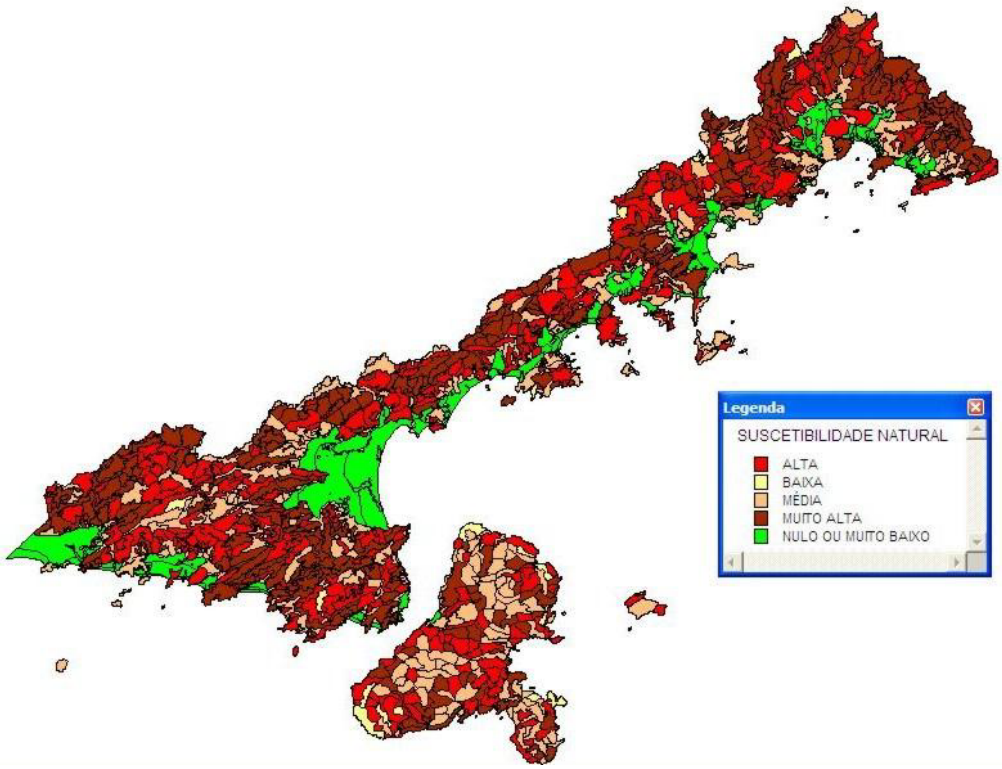

Figura 5 – Esboço do mapa de suscetibilidade natural do Litoral Norte do Estado de São Paulo.

Tabela 6 - Potencial de indução da suscetibilidade: reclassificação das unidades de uso do solo e de vegetação

Potencial de Indução da Suscetibilidade	Unidades de Uso do Solo e Vegetação
Alto	Urbano com infraestrutura inadequada e/ou ausente, solo exposto (U4, U5, U8, Se).
Médio	Urbano com infraestrutura adequada, Agro-pecuária, Secundária Arbustiva e Herbácea (U1, U2, U3, U6, U7, U9, Ge, Re, AgP, ScAb, ScHb).
Baixo	Vegetação Primária e Secundária Arbórea, Reflorestamento (PmAa, PmAm, PmAb, ScAa, ScAm, R).

Tabela 7 – Classificação da Suscetibilidade Total. Suscetibilidade Total (ST)= f [suscetibilidade natural (SN) x potencial de indução de perigos (w)].

Classificação da Suscetibilidade Total		
Suscetibilidade natural (SN)	**Indução de perigos do uso do solo (w)**	**Suscetibilidade total (ST)**
Muito Alta	Alta	Muito Alta
	Média	Muito Alta
	Baixa	Alta
Alta	Alta	Muito Alta
	Média	Alta
	Baixa	Média
Média	Alta	Alta
	Média	Média
	Baixa	Baixa
Baixa	Alta	Média
	Média	Baixa
	Baixa	Baixa

CARTA DE POTENCIAL DE INDUÇÃO

A caracterização das unidades de uso e ocupação do solo quanto à densidade de ocupação, ao estágio de consolidação e à estrutura urbana, bem como do estado de preservação da cobertura vegetal, permite indicar o grau relativo do potencial de indução de perigo associado a cada unidade. As unidades do Mapa de Uso do Solo e de Vegetação foram classificadas como sendo de baixo, médio e alto potencial de indução conforme mostra a Tabela 6.

CARTA DE SUSCETIBILIDADE TOTAL

Denominou-se carta de suscetibilidade total a interação (ou soma) da carta de suscetibilidade natural e do potencial de indução relativos às unidades de uso e ocupação do solo e vegetação, conforme matriz da Tabela 7.

RESULTADOS

Carta de Perigo

A Carta de Perigos, além de indicar as áreas propensas a desenvolver processos de movimentos de massa com potencial de causar danos (perigos), deve estimar também a probabilidade de ocorrência dos mesmos (EINSTEIN 1987; DOORNKAMP 1989; ANBALAGAN & SINGH 1996). E, visto que em regiões tropicais, o clima, especialmente a chuva, exerce um papel fundamental como agente deflagrador de grande parte dos movimentos de massa (GUIDICINI & NIEBLE 1984, TATIZANA *et al.*, 1987; THORNES & ALCÂNTARA-AYALA 1998, LARSEN & TORREZ-SANCHES 1998), estabeleceu-se um índice de clima (Tabela 8) como um indicativo da probabilidade de ocorrência do perigo.

Os parâmetros climáticos utilizados na composição deste índice foram: pluviosidade habitual, variabilidade pluvial do verão e tempo de retorno de chuva acumulada de 120 mm em três dias (72 horas), conforme pode ser observado na Tabela 3. A classificação desse índice respeitou a seguinte regra:

Muito alto - se três ou dois atributos são classificados como Muito Alto, ou se um dos atributos for Muito Alto e outro Alto;

Alto - se três atributos são classificados como Alto, ou dois Altos e o outro Médio ou Baixo;

Médio - se três atributos são classificados como Médio, ou dois Médios e o outro Alto ou Baixo;

Baixo - Se três atributos são classificados como Baixo, ou dois Baixos e outro Alto ou Médio.

O índice de acumulado de chuva de 120mm em 72 horas, a partir do qual a possibilidade de ocorrência de perigos relacionados a escorregamentos nas vertentes da Serra do Mar, torna-se muito elevado, é utilizado na operação do Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) na região do Litoral Norte (TATIZANA *et al*. 1987) e, ao longo de 16 anos de operação do plano tem se mostrado adequado.

Desta forma, a carta de perigo é o resultado da interação da carta de suscetibilidade total com os índices de clima, representados espacialmente, conforme matriz de classificação do perigo expressa na Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação de Perigo Perigo (P)= *f*[suscetibilidade x clima].

Suscetibilidade	Índice de Clima (pluviosidade habitual, variabilidade e tempo de retorno)	Classes de Perigo
Muito Alta	Muito Alto	Muito Alto
	Alto	Muito alto
	Médio	Alto
	Baixo	Alto
Alta	Muito Alto	Muito Alto
	Alto	Alto
	Médio	Alto
	Baixo	Médio
Média	Muito Alto	Alto
	Alto	Médio
	Médio	Médio
	Baixo	Baixo
Baixa	Muito Alto	Médio
	Alto	Médio
	Médio	Baixo
	Baixo	Baixo

Carta de Vulnerabilidade

A carta de Vulnerabilidade do Elemento em Risco decorre da reclassificação das unidades de uso do solo quanto à maior ou menor capacidade de resistir ao impacto dos perigos, considerando-se as características da estrutura urbana e do estágio de consolidação, como indicado na Tabela 9.

Tabela 9 - Vulnerabilidade das unidades de uso do solo.

Classes de Vulnerabilidade	Unidades de Uso do Solo
Alta	U4, U5, U8 (infraestrutura inadequada/ausente).
Média	U3, U6 (infraestrutura adequada, em consolidação)
Baixa	U1, U2, U7, U9, Ge, LO, LA (urbano consolidado com infraestrutura adequada).
Não classificado	Vegetação (Pm, Sc, R, AgP), Se, Mi.

Carta de Potencial de Dano do Elemento em Risco

A avaliação do potencial de dano (valoração) contemplou a população como elemento em risco. A classificação das unidades de uso e ocupação do solo baseado na densidade de ocupação indica o potencial de dano à população, conforme mostra a Tabela10.

Tabela 10 - Classificação das unidades de uso e ocupação do solo quanto ao potencial de dano à população.

Potencial de Dano com base na densidade de ocupação	Unidades de Uso do Solo
Muito Alto e Alto	U1, U2, U4, U8
Médio	U5, U9, U3
Baixo	U6, U7

Carta de Risco

Como resultado final do processo de avaliação de risco produziu-se a carta de risco da população, que resulta da interação do perigo, da vulnerabilidade e do potencial de dano do elemento em risco cuja matriz de classificação é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Matriz da Carta de Risco - Elemento em Risco: População. R = f(E x V x P), onde: R – Risco; E – elemento em risco classificado quanto à densidade de ocupação; V – Vulnerabilidade; P – Perigo

Classes de Risco da População			
Densidade de ocupação (E)	**Vulnerabilidade (V)**	**Perigo (P)**	**Risco (R)**
Muito Alta e Alta (U1, U2, U4, U8)	Alta (U4, U8)	Muito Alto	Muito Alto
		Alto	Muito alto
		Médio	Alto
		Baixo	Alto
	Média	Muito Alto	Muito Alto
		Alto	Muito Alto
		Médio	Alto
		Baixo	Médio
	Baixa (U1, U2)	Muito Alto	Alto
		Alto	Alto
		Médio	Médio
		Baixo	Baixo
Média (U5, U9)	Alta (U5)	Muito Alto	Muito Alto
		Alto	Alto
		Médio	Alto
		Baixo	Médio
	Média	Muito Alto	Alto
		Alto	Alto
		Médio	Médio
		Baixo	Baixo
	Baixa (U9)	Muito Alto	Alto
		Alto	Médio
		Médio	Baixo
		Baixo	Baixo
Baixa (U3, U6, U7)	Alta	Muito Alto	Alto
		Alto	Médio
		Médio	Médio
		Baixo	Baixo
	Média (U3,U6)	Muito Alto	Médio
		Alto	Médio
		Médio	Baixo
		Baixo	Baixo
	Baixa (U7)	Muito Alto	Médio
		Alto	Baixo
		Médio	Baixo
		Baixo	Baixo

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho desenvolveu-se uma avaliação de risco voltada para os elementos espaciais (polígonos). A análise destes elementos foi baseada nas cartas de compartimentação fisiográfica, de uso e ocupação do solo e de vegetação e nos mapas derivados ou intermediários decorrentes da análise das características geoambientais do terreno e dos fatores sócio-econômicos da ocupação humana.

Os bancos de dados relacionais e o sistema de informações geográficas foram estruturados em duas unidades básicas de armazenamento: as unidades básicas de compartimentação e as unidades de uso do solo e vegetação. Essa abordagem evita o cruzamento de diversos planos de análise com a geração de centenas de polígonos sem qualquer correspondência no meio físico.

Na presente avaliação, considerou-se risco como uma função do perigo de ocorrer um determinado processo geoambiental, da vulnerabilidade do elemento em risco e do potencial de dano (valoração) do elemento em risco. Esse conceito distingue os termos risco e perigo e acrescenta os fatores de vulnerabilidade e valoração do elemento em risco, os quais não são normalmente aplicados nas análises de risco de fenômenos naturais.

Para elaboração do mapa de perigo a movimentos de massa considerou-se, além dos fatores naturais do terreno, a influência antrópica relacionada às características do uso e os parâmetros climáticos (pluviosidade, variabilidade e tempo de retorno).

A vulnerabilidade do elemento em risco (população) foi obtida pela reclassificação das unidades do mapa de uso com base em critérios do grau de infraestrutura e estágio de consolidação da ocupação. O potencial de dano (valoração), também derivado do mapa de uso e vegetação, teve como critério uma estimativa da densidade populacional.

Assim, por meio da interação dos fatores (ou das cartas) de perigo, vulnerabilidade e potencial de dano do elemento em risco, foi possível gerar a carta de risco para um determinado elemento em risco, a população. Porém, este tipo de análise pode ser aplicado também para outros elementos, tais como, propriedades e bens, obras lineares (rodovias), dutos etc.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP para o desenvolvimento do presente estudo (processo 1998/14277-2).

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. S. J. & SANTOS, R. P.dos. 1991. Carta Morfodinâmica da Serra do Mar na Região de Cubatão-SP. São Paulo, CETESB. Relatório Técnico. 37p. 09 mapas.

ANBALAGAN, R. & SINGH, B. 1996. *Landslides hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains – a case study from Kumaun Himalaya, India*. ***Engineering Geology***, 43: 237-246.

BACCARO, C. A. D. 1982. **Os processos de movimentos de massa e a evolução das vertentes na Serra do Mar em Cubatão (SP)**. Dissertação de Mestrado, Depto de Geografia, FFLCH-USP. São Paulo, 165p.

BESIO, M.; RAMELLA, A.; BOBBE, A.; COLOMBO, A.; OLIVIERI, C.; PERSANO, M. 1998. *Risk maps: theoretical concepts and techniques*. ***Journal of Hazardous Materials***, 61: 299-304.

DOORKAMP, J. C. 1989. *Hazards. In*: McCALL, J. & MARKER, B. (eds). 1989. ***Earth Science Mapping for Planning, Development and Conservation***. Graham & Trotman (1989), pp.157-173.

EINSTEIN, H.H. 1987. *Landslides risk assessment procedure*. In: ***International Symposium on Landslides***, 4, Lausanne, 1987.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. 1984. *Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação.* São Paulo: 2ª ed. Edgard Blücher,. 194p.

HAMBURGER, D. S.; HOLL, M. C. ;SOUZA, C. R. G.; RODRIGUES, C. L.; ROSSINI, D. 2003. Mapa de Uso e Ocupação do Solo Urbano. *In*: Souza, C.R. de G. (coord.). Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL: FASE II. 3º Relatório Científico. FAPESP (Proc. 1998/14.277-2), out/2003. 215 p. (inédito).

HERMELIN, M. 2002. *News trends in prevention of geological hazards*. In: **International Geological Congress, 31,** Rio de Janeiro, 2000. Resumo de palestra.

IG-SMA (INSTITUTO GEOLÓGICO-SMA). 1996. Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião. Instituto Geológico-SMA/Prefeitura Municipal de São Sebastião. 77 p. e Anexos (15 mapas).

LARSEN, M. C. & TORREZ-SÁNCHEZ, A. J. 1998. *The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico.* ***Geomorphology****,* 24 (4): 309-331.

MACEDO, E. S.; OGURA, A T.; SANTORO, J. 1999. Defesa Civil e Escorregamentos: o Plano Preventivo do Litoral Paulista. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 9*, São Pedro, 1999. Anais (em CD-ROM)... ABGE, São Paulo.

OKIDA, R. 1996. **Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações**. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos. 125p.

ONU 2002. Living with Risk. *A global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version*. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suiça, www.unisdr.org, 152pp.

SANTORO, J. 2003. Carta de inventário de eventos de movimentos de massa. In: Souza C.R.G.(coord.) Sistema integrador de informações geoambientais para o litoral do Estado de são Paulo, aplicado ao gerenciamento costeiro-SIIGAL: fase II. 3° Relatório Científico (FAPESP-1998/14277-2).

SÃO PAULO: SMA/IF. 1998a. **Planos de Manejo das Unidades de Conservação – Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cubatão**. Plano de Gestão Ambiental – fase 1, org. por LOREJAN, S. F. & RAIMUNDO, S. São Paulo. SMA, 1998. 177p.

SÃO PAULO: SMA/IF/FF. 1998b. **Planos de Manejo das Unidades de Conservação – Parque Estadual de Ilhabela.** Plano de Gestão Ambiental – fase 1, org. por MALDONADO, W. T. V.; LEONEL, C.; BUCHIANERI, V.; MARETTI, C. C. & RAIMUNDO, S. São Paulo. SMA, 1998. 100 p.

SÃO PAULO: SMA/CPLEA. 2005. **Litoral Norte**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental – São Paulo: SMA-CPLEA, 2005. 112 p.

SOUZA, C.R. de G. (coord.). 2000a. Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL: FASE II. Projeto de Pesquisa. FAPESP (Proc. 1998/14.277-2), abril/2000. 87 p. + anexos (inédito).

SOUZA, C.R. G.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J. & HOLL, M.C. 2001. A cartografia geotécnica no sistema integrador de informações geoambientais para a zona costeira de São Paulo (Projeto SIIGAL). Brasília, DF. *In*: **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, IV**, ABGE. CD-ROM, 2001

TATIZANA, C.; OGURA, A. T.; CERRI, L.E. DA S.; ROCHA, M.C.M. 1987. Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão. In: **Cong. Bras. de Geol. Eng., V**, São Paulo. Anais, ABGE, Vol. 2. p 225-236

THORNES, J.B. & ALCÁNTARA-AYALA, I. 1998. *Modelling mass failure in a Mediterranean mountain environment: climatic, geological, topographical and erosional controls*. ***Geomorphology***, 24 (1): 87-100.

TOMINAGA, L.K. 2000. ***Análise Morfodinâmica das Vertentes da Serra do Juqueriquerê em São Sebastião – SP.*** Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Departamento de Geografia, FFLCH – USP. São Paulo, 2000. 162 p.

TOMINAGA, L. K.; SOUZA, C.R.G.; FERREIRA, C. J.; SANTORO, J.; VEDOVELLO, R. 2001. Avaliação de Riscos Geológicos para Aplicação em Instrumentos de Gestão Ambiental. In: **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, IV**, Brasília, DF, 2001. Anais (em CD-ROM)... ABGE, São Paulo.

TOMINAGA, L. K.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M. J.; SOUZA, C. R. G.; SANTORO, J.; HOLL, M. C. 2002. Uso da Cartografia Geotécnica na Elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação no Litoral do Estado de São Paulo. Ouro Preto, MG. *In:* ***Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 10º*** . Anais ..., ABGE. CD-ROM.

TOMINAGA, L.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J.; SOUZA, C.R. de G. 2004. Cartas de perigo a escorregamentos e de risco a pessoas e bens do Litoral Norte de São Paulo: conceitos e técnicas In: PEJON, O.; ZUQUETTE, L. eds. **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5**: 2004: São Carlos. p. 205-216.

TURRINI, M. C. & VISINTAINER, P. 1998. Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. ***Engineering Geology***, 50 (1998): 255-265.

VARNES, D.J. 1984. ***Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice***. UNESCO Press, Paris. 56 p.

VASCONI, M.E.R.M.; OHUNA, C.S.; SILVA, F.L. DE M.; MAGRO, S.O.; MISHIMA, E.H. 1994. Risco a escorregamentos no Litoral Norte do Estado de São Paulo – zoneamento das áreas críticas. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38,* Balneário Camboriu, 1994. Anais... SBG, São Paulo, v.1, p. 547-548

VEDOVELLO, R. 1993. *Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 88p., 1993.

VEDOVELLO, R. 2000. *Zoneamentos Geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação - UBCs*. Tese de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, IGCE/UNESP, Rio Claro, 154p., 2000.

VEDOVELLO, R.; Mattos, J.T.de 1998. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. *In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3.* Florianópolis. *CD-ROM*, ABGE, 1998.

VEDOVELLO, R.; Riedel, P.S.; Brollo, M.J.; Hamburger, D.S.; Camargo, A.A.X. de. 2002. Modelagem e arquitetura de um sistema Gerenciador de Informações Geoambientais (SGIG) como produto de avaliações geológico-geotécncias. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10*, Ouro Preto, 2002. Anais (em CD-ROM)... ABGE, São Paulo.

ZUQUETTE, L.V**. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamentos e guias para exploração. 1993. Tese (Livre-Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1993. 2v.